

**ANALISA STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN TANAH  
DI SEKITAR CANDI GAMBAR WETAN, KABUPATEN BLITAR DENGAN  
METODE *VERY LOW FREQUENCY ELECTROMAGNETIC* (VLF-EM)**

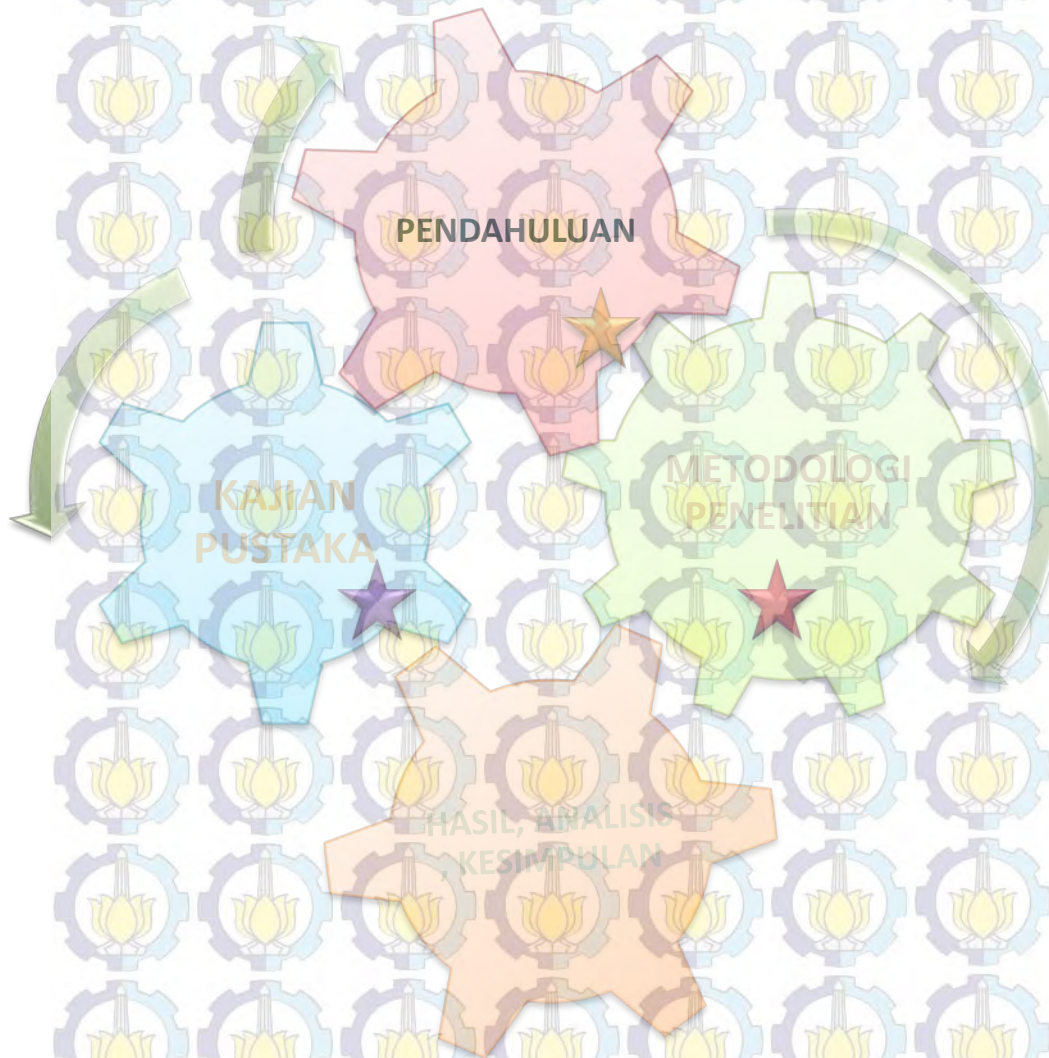


**MIFTAKHUL MAULIDINA**

**Pembimbing: Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Santosa, SU**

Program Magister  
Bidang Keahlian Geofisika  
Jurusan Fisika

Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2014







## ● Pendahuluan

### FAKTA

- ✓ Penemuan Candi Gambar Wetan pertama kali di Desa Sumberasri, Kec. Nglegok, Kab. Blitar hanya satu arca
- ✓ Tahun-tahun berikutnya ditemukan arca dan bagian tempat pemujaan
- ✓ Penemuan terbaru Mei 2014 sebuah arca

- ✓ Perlu penelitian lebih lanjut tentang struktur bawah tanah sekitar Candi Gambar Wetan

### TEORI

- Batuan memiliki resistivitas lebih tinggi daripada tanah
- Metode VLF-EM dapat digunakan untuk mengenali dengan cepat beda resistansi yang *exist* pada batuan beku dan sedimennya.

### PENEITIAN TERDAHULU

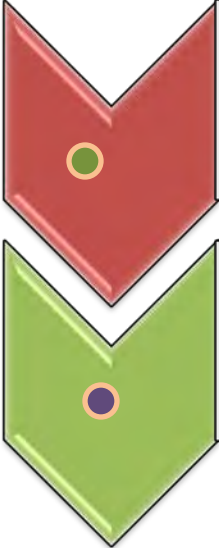
- Arcone, 1978; Paal, 1968 (batuan induk)
- Drahor, 2006 (arkeologi)

### RUMUSAN MASALAH

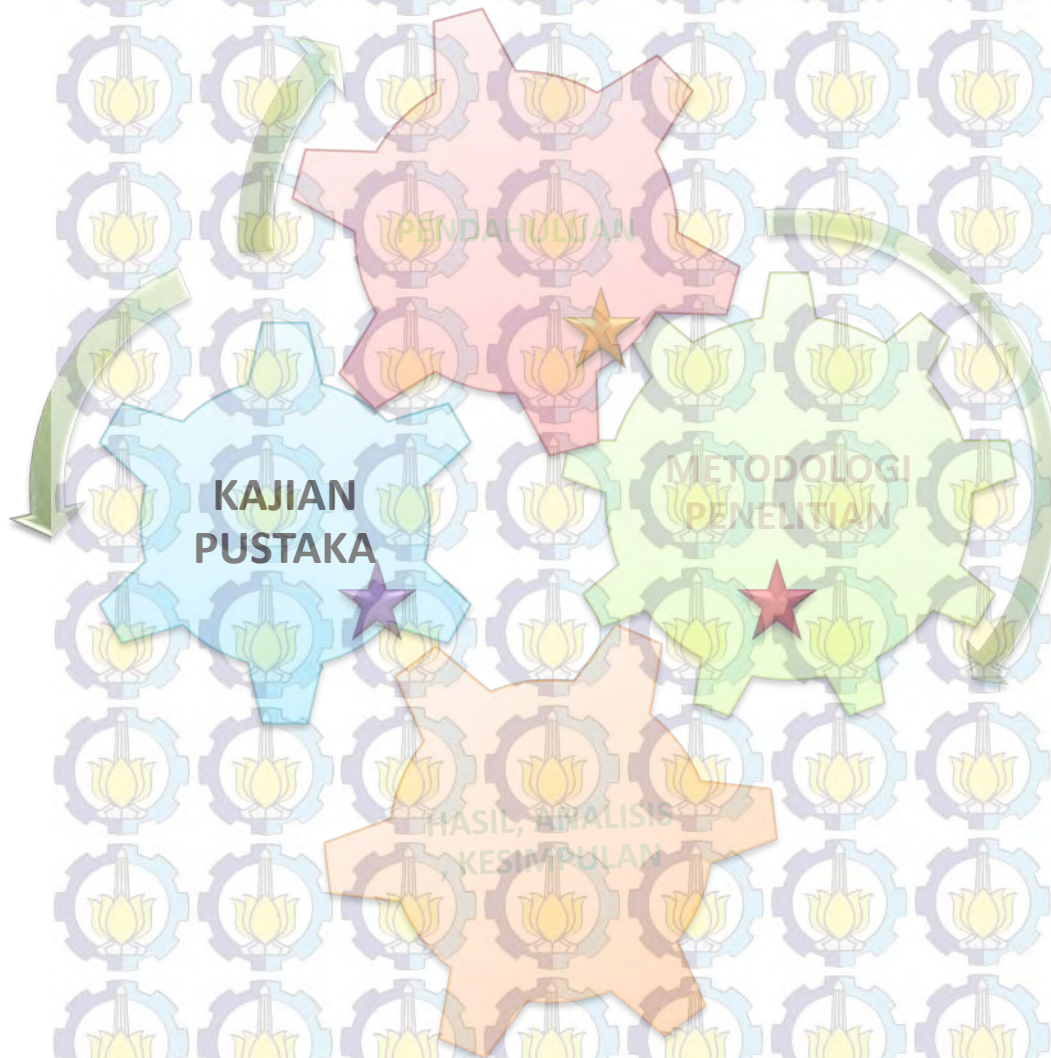
Bagaimana anomali dan hasil interpretasi pengukuran VLF-EM untuk sebaran batuan bawah tanah sekitar candi?



## Tujuan Penelitian

- 
- Mengidentifikasi anomali di bawah permukaan tanah di sekitar candi berdasarkan hasil pengukuran VLF-EM
  - Menentukan sebaran batuan bawah tanah berdasarkan hasil interpretasi pengukuran VLF-EM







## ● Kajian Pustaka

• Gelombang VLF-EM



• NA-MEMD



• Filter Karous-Hjelt



• Inversi



• *Finite Element Method*



• Sifat Elektromagnetik Material Arkeologi







# Gelombang VLF-EM

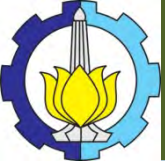
Pemancar

Sinyal VLF

Perambatan  
Medan EM

Fase dan Polarisasi *Ellips*

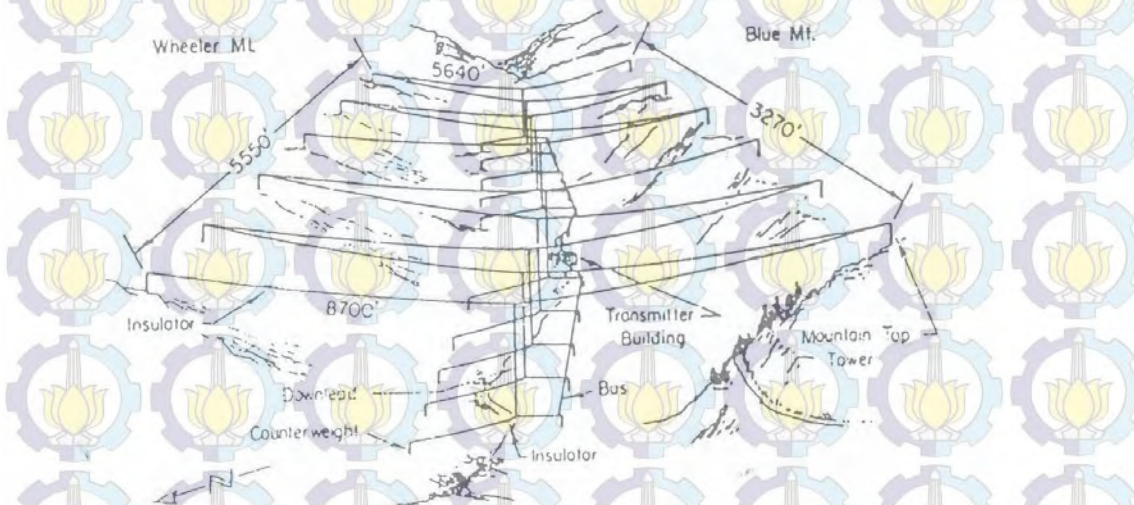
*Skin Depth*



## ● Gelombang VLF-EM

### Pemancar

Dua pemancar terdekat dengan Indonesia berada di **Yosamai, Jepang** dan **Northwest Cape, Australia**



Ilustrasi transmitter raksasa VLF NLK di Seattle, US yang dibangun pada lembah dua bukit

(Sumber: Panduan Workshop Eksplorasi Geofisika UGM, 2011)





# Gelombang VLF-EM

Pemancar

Sinyal VLF

Perambatan  
Medan EM

Fase dan Polarisasi *Ellips*

*Skin Depth*



## ● Gelombang VLF-EM

### Sinyal VLF

$$P \cong 7 \times 10^{-13} V^2 C^2 h_e^2 f^4$$

$$E_z = 9,5 \frac{\sqrt{P}}{r}$$

$$H_0 = \frac{E_z}{\eta_0}$$

- bumi adalah bulat (sferis) bukan datar (flat) dan dikelilingi oleh ionosfer
- adanya *noise* dalam penerimaan sinyal





# Gelombang VLF-EM

Pemancar

Sinyal VLF

Perambatan  
Medan EM

Fase dan Polarisasi *Ellips*

*Skin Depth*



# ● Gelombang VLF-EM

## Perambatan Medan EM

$$\nabla \times \mathbf{H} = (\sigma + i\omega\epsilon)\mathbf{E}$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -(i\omega\mu_0)\mathbf{H}$$

$$\nabla \cdot (\epsilon\mathbf{E}) = \rho$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial z} = -i\omega\mu H_x$$

TE Mode

$$\frac{\partial H_x}{\partial z} = (\sigma + i\omega\epsilon)E_y$$

TM Mode

Output alat VLF berupa data triper ( $H_z/H_y$ ) berbilangan kompleks akibat polarisasi

$$H_z \neq H_y$$

bentuk *ellips*

$$H_z = H_y$$

bentuk lingkaran

bagian real  $\rightarrow$  *inphase*  
bagian *imaginer*  $\rightarrow$  *quadrature*

Perbedaan konduktivitas

Medan magnetik gel primer menginduksi medium

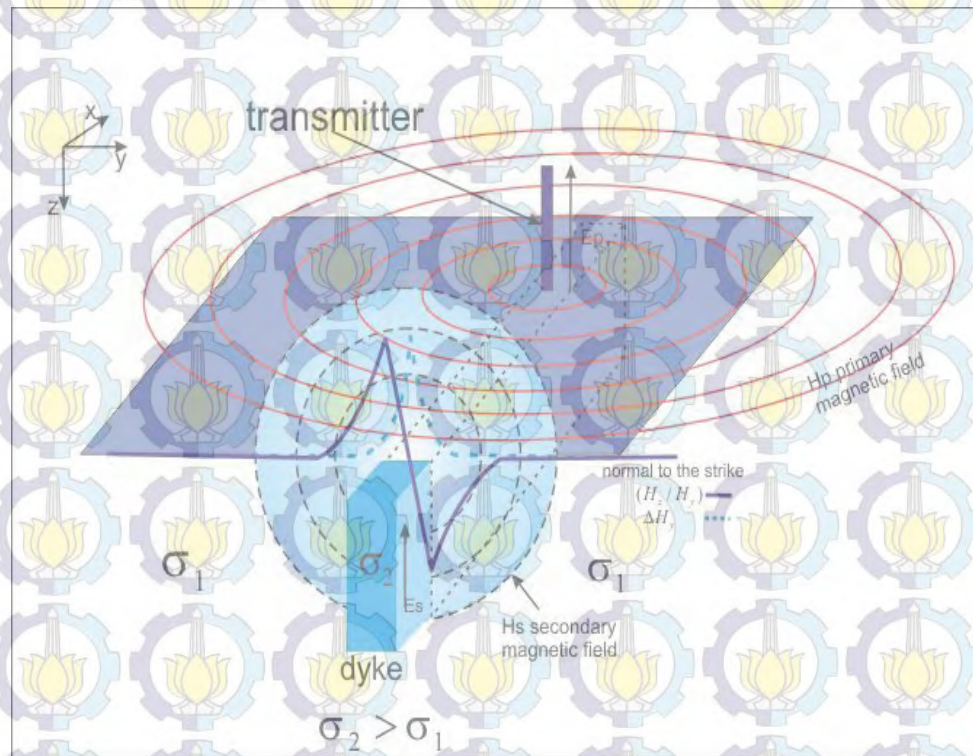
**Eddy Current**





## ● Gelombang VLF-EM

### *Eddy Current*



Arus Eddy menimbulkan medan elektromagnetik baru yang disebut medan elektromagnetik sekunder (Bosch dan Muler, 2001)



# Gelombang VLF-EM

Pemancar

Sinyal VLF

Perambatan  
Medan EM

Fase dan Polarisasi *Ellips*

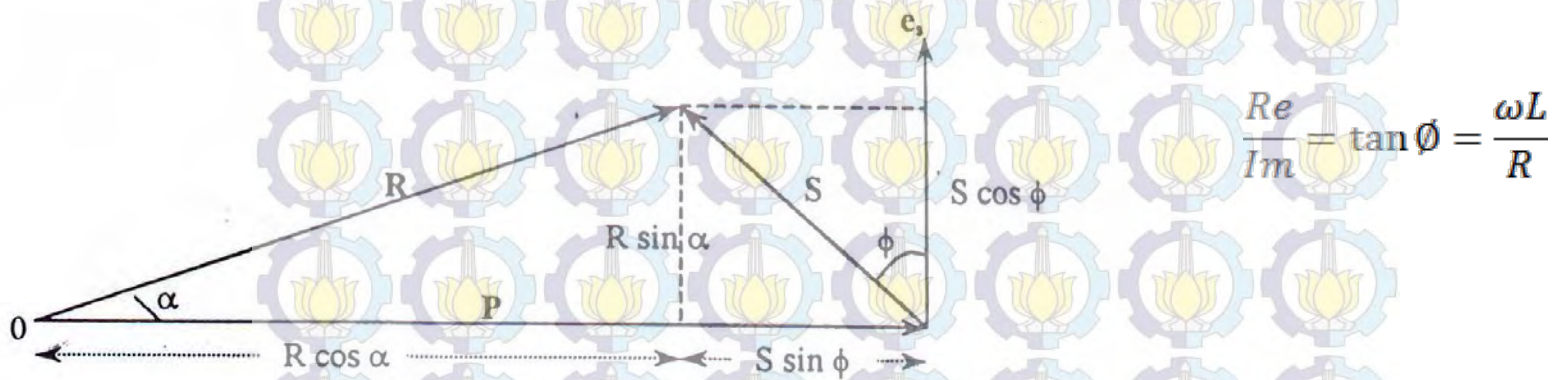
*Skin Depth*





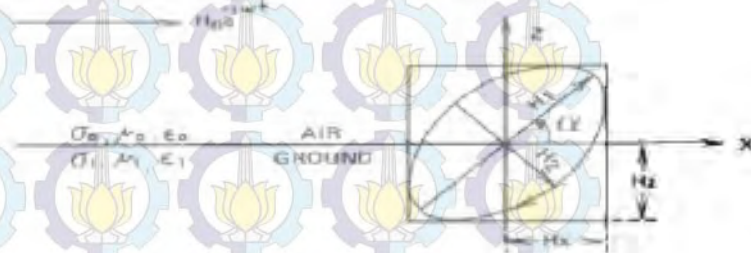
# ● Gelombang VLF-EM

## Fase dan Polarisasi *Ellips*



$$\tan(\alpha) = \frac{2 \frac{H_z}{H_x} \cos \Delta \phi}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x}\right)^2}$$

$$\varepsilon = \frac{H_2}{H_1} = \frac{H_z H_x \sin \Delta \phi}{(H_z e^{i\theta} \sin \alpha + H_x \cos \alpha)^2}$$





# Gelombang VLF-EM

Pemancar

Sinyal VLF

Perambatan  
Medan EM

Fase dan Polarisasi *Ellips*

*Skin Depth*





## ● Gelombang VLF-EM

### *Skin Depth*

Kedalaman penetrasi gelombang (*Skin Depth*) :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \approx 504 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

<i>Skin Depth (m)</i>				
f (Hz)	Resistivitas (Ωm)			
	0.01	1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>
0.01	500	5000	5x10 <sup>4</sup>	5x10 <sup>5</sup>
10	16	160	1600	16000
10 <sup>3</sup>	1.6	16	160	1600
10 <sup>4</sup>	0.5	5	50	500
10 <sup>5</sup>	0.16	1.6	16	160



## ● Kajian Pustaka

• Gelombang VLF-EM



• NA-MEMD



• Filter  
Karous-Hjelt



• Inversi



• *Finite Element  
Method*



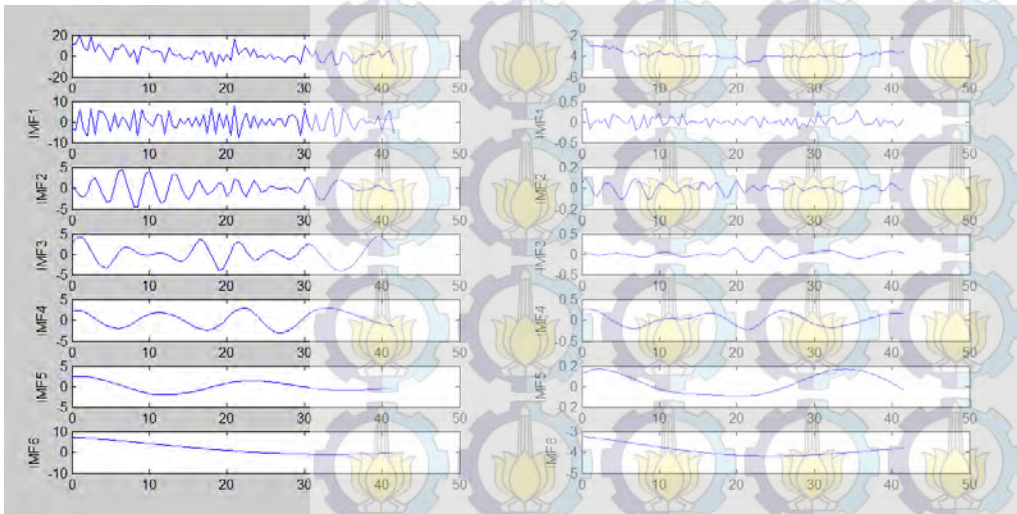
• Sifat  
Elektromagnetik  
Material Arkeologi



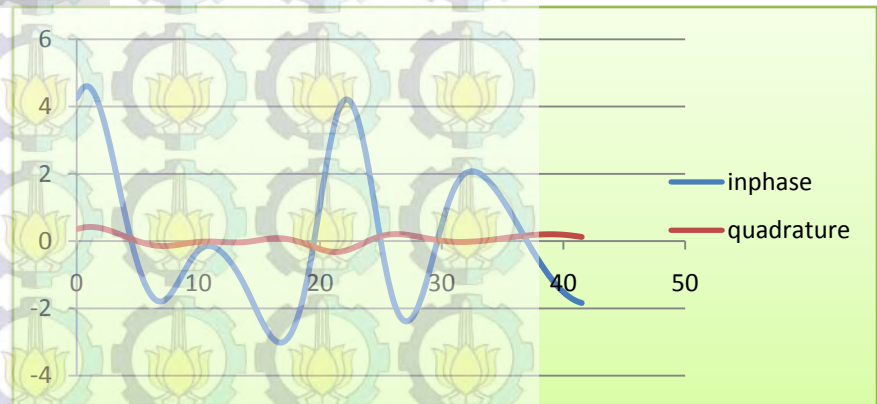




## Contoh hasil penguraian sinyal



## Hasil penjumlahan IMF4 dan IMF5





## ● Kajian Pustaka

• Gelombang VLF-EM



• NA-MEMD



• Filter Karous-Hjelt



• Inversi



• *Finite Element Method*



• Sifat Elektromagnetik Material Arkeologi

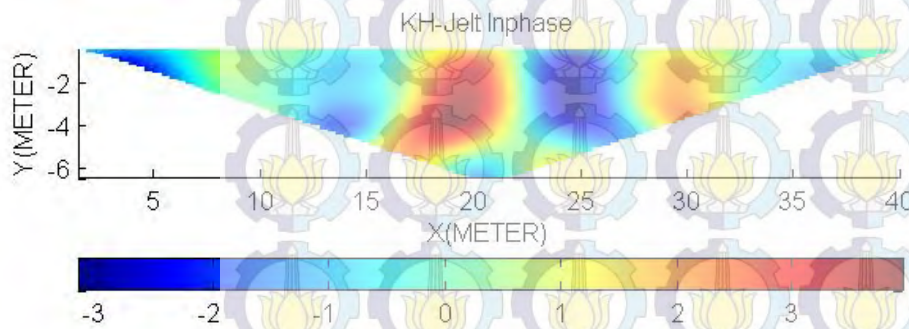




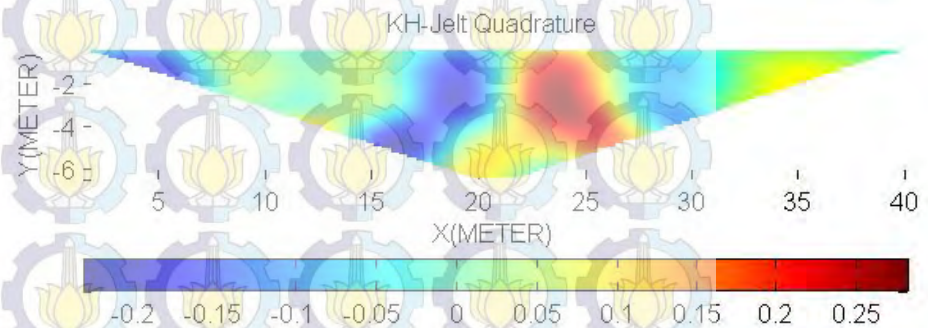


## ● Filter Karous-Hjelt

Contoh hasil pengolahan menggunakan Filter Karous Hjelt



**Data Inphase**



**Data Quadrature**



## ● Kajian Pustaka

• Gelombang VLF-EM



• NA-MEMD



• Filter Karous-Hjelt



• Inversi



• *Finite Element Method*



• Sifat Elektromagnetik Material Arkeologi

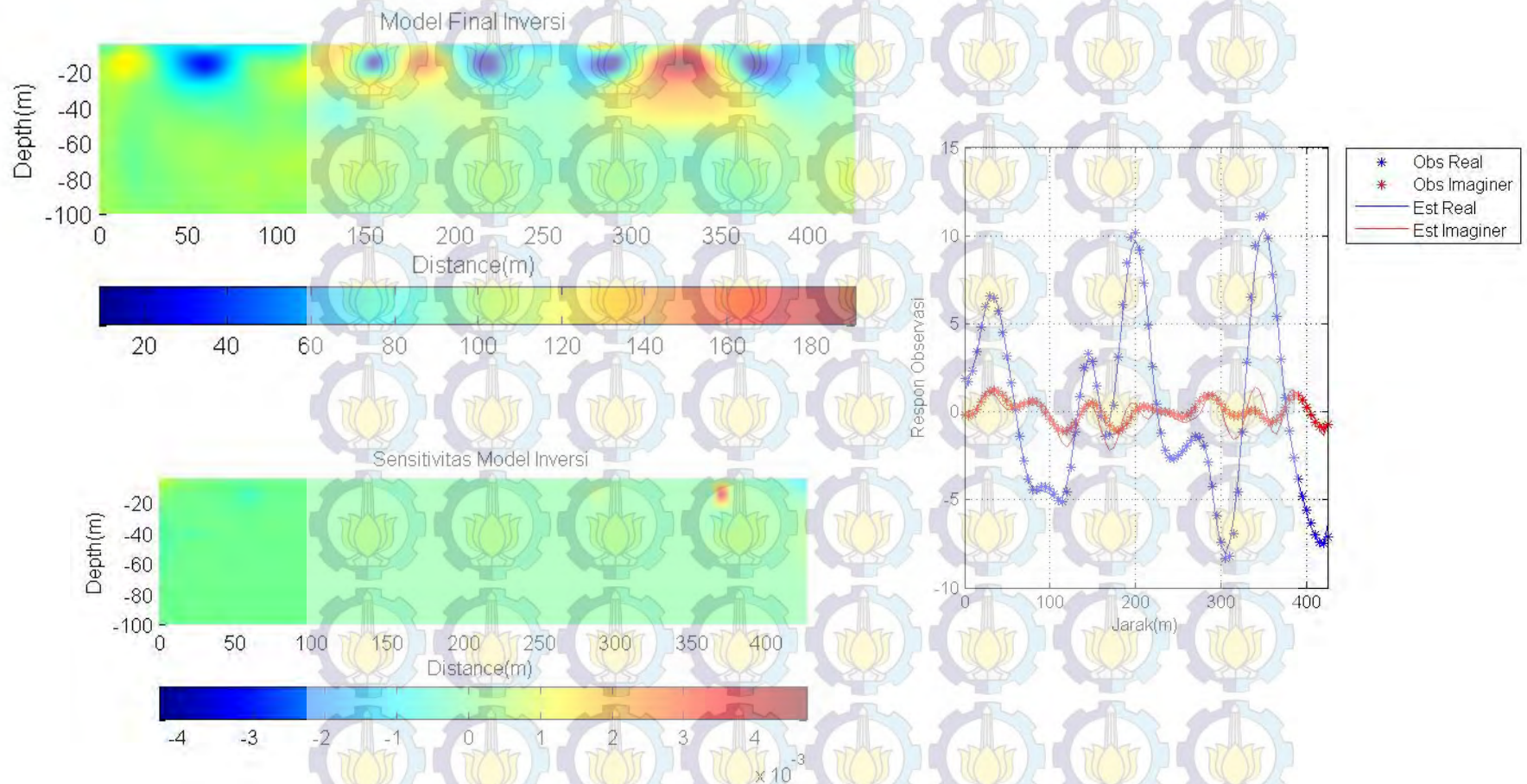






# ● Inversi

## Contoh hasil pengolahan inversi





## ● Kajian Pustaka

• Gelombang VLF-EM



• NA-MEMD



• Filter Karous-Hjelt



• Inversi



• *Finite Element Method*



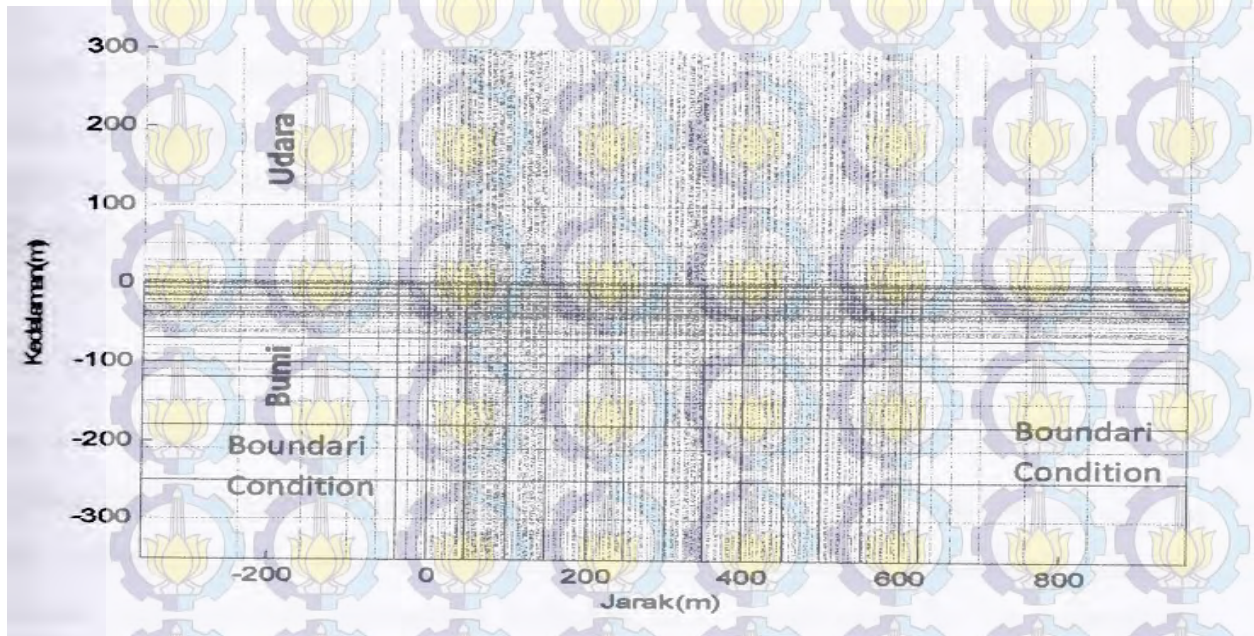
• Sifat Elektromagnetik Material Arkeologi







## ● Finite Element Method (FEM)



**Grid** untuk analisis  $E_x$  dengan menggunakan metode FEM



## ● Kajian Pustaka

• Gelombang VLF-EM



• NA-MEMD



• Filter Karous-Hjelt



• Inversi



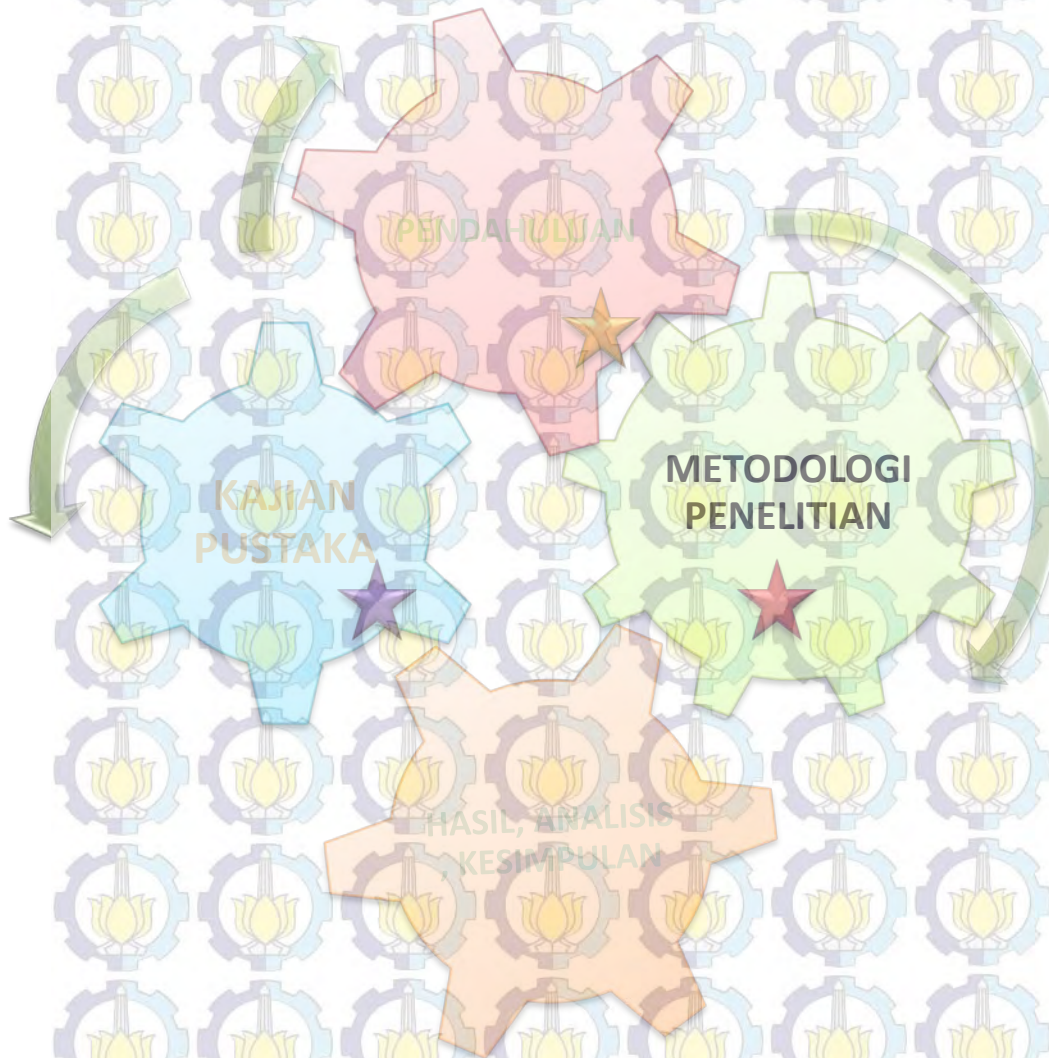
• *Finite Element Method*



• Sifat Elektromagnetik Material Arkeologi









# ● Metodologi Penelitian



Kondisi Geologi dan Lokasi Penelitian

Perangkat Penelitian

Akuisisi Data

Pengolahan, Interpretasi, dan Analisa Data



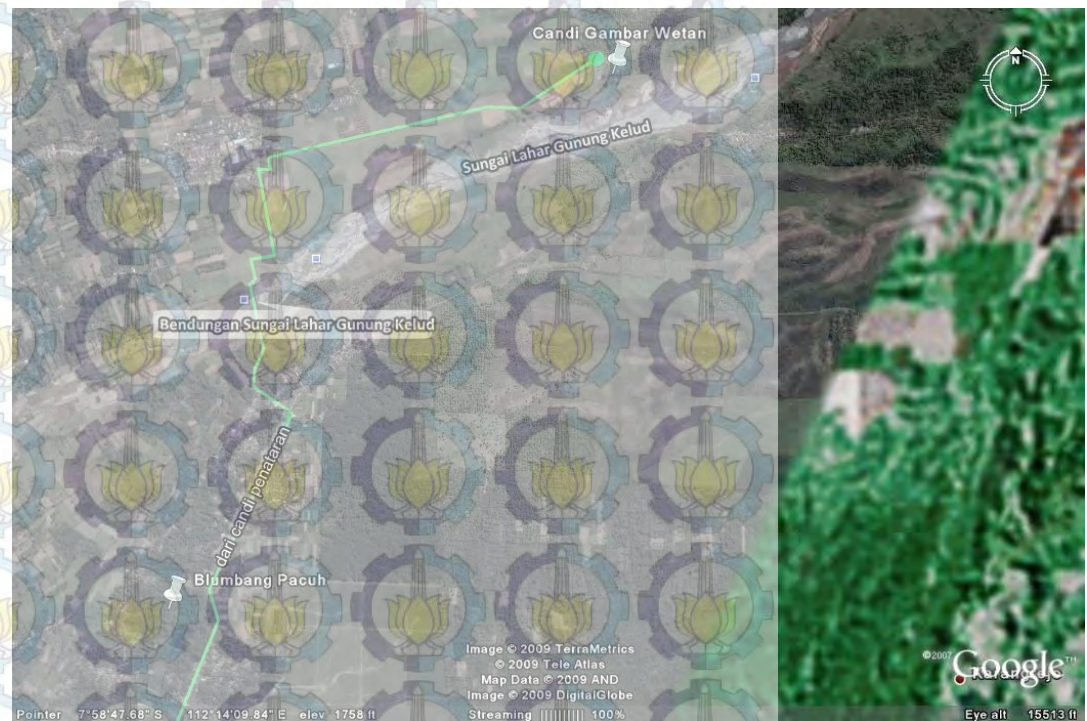


# ● Metodologi Penelitian

## Kondisi Geologi dan Lokasi Penelitian



Lokasi Penelitian







# ● Metodologi Penelitian



Kondisi Geologi dan Lokasi Penelitian



Perangkat Penelitian



Akuisisi Data



Pengolahan, Interpretasi, dan Analisa Data

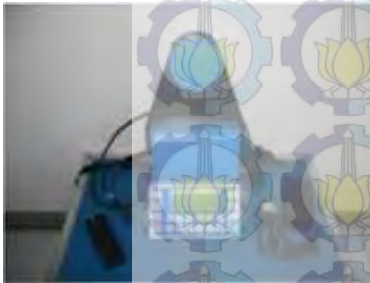




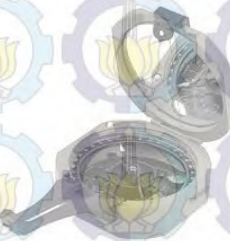
# ● Metodologi Penelitian

## Perangkat Penelitian

### Peralatan :



☐ VLF-EM Scintrex



☐ Kompas Geologi



☐ GPS

☐ Roll meter

☐ Tali rafia

☐ Kamera

☐ Alat Tulis

### Software :

☐ Microsoft Excel

☐ Matlab

☐ Inv2DVLF-v1

☐ Surfer 9



# ● Metodologi Penelitian

Kondisi Geologi dan Lokasi Penelitian

Perangkat Penelitian

Akuisisi Data

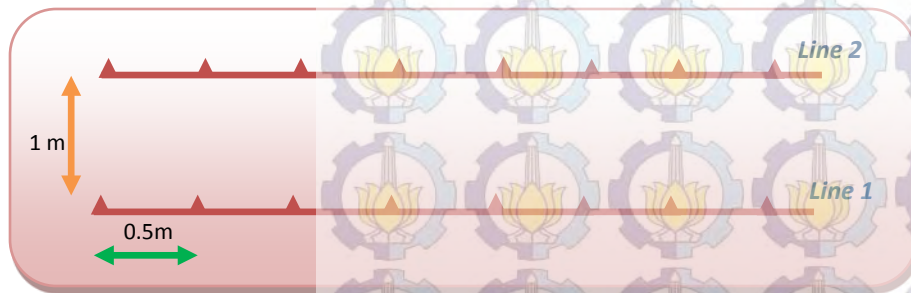
Pengolahan, Interpretasi, dan Analisa Data





# ● Metodologi Penelitian

## Akuisisi Data





# ● Metodologi Penelitian

Kondisi Geologi dan Lokasi Penelitian

Perangkat Penelitian

Akuisisi Data

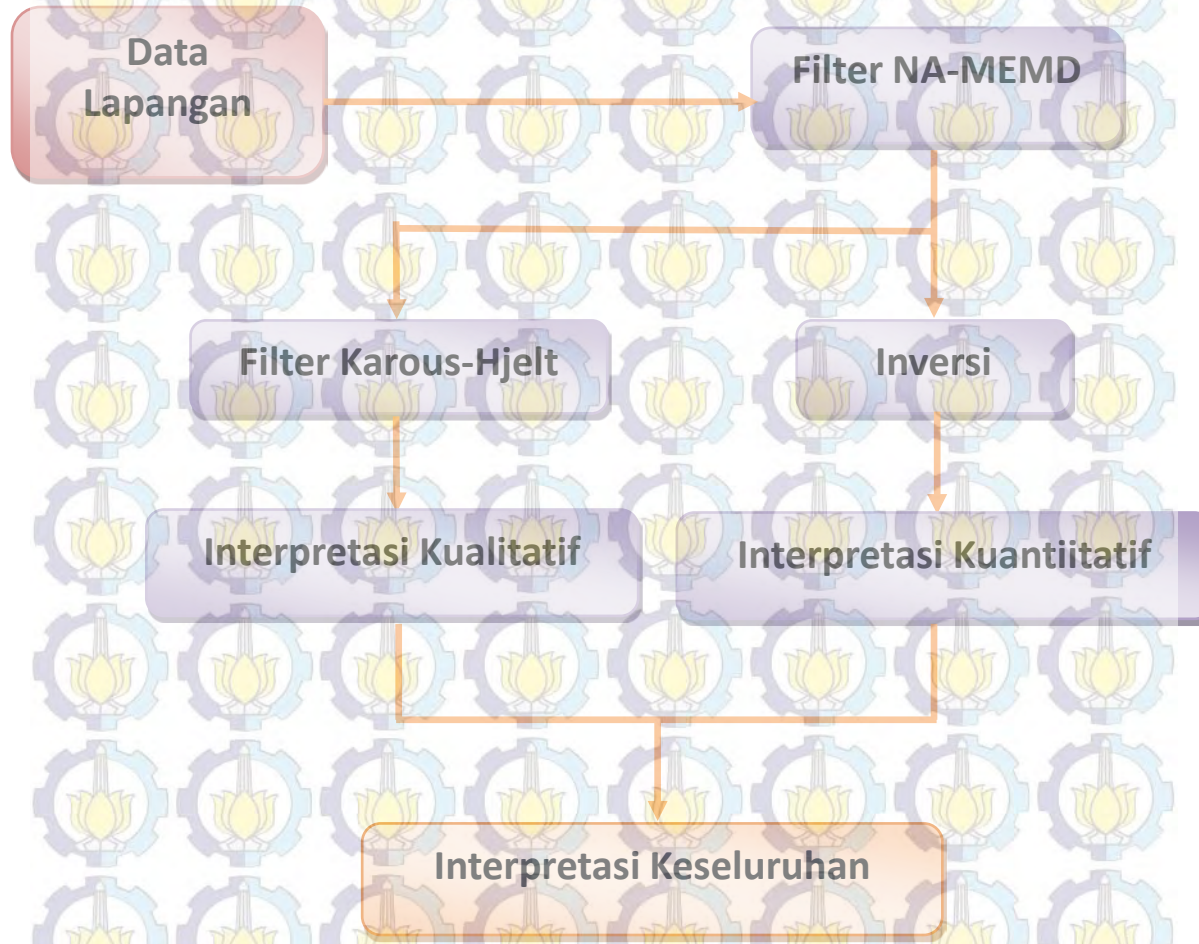
Pengolahan, Interpretasi, dan Analisa Data





## ● Metodologi Penelitian

### Pengolahan, Interpretasi, dan Analisa Data



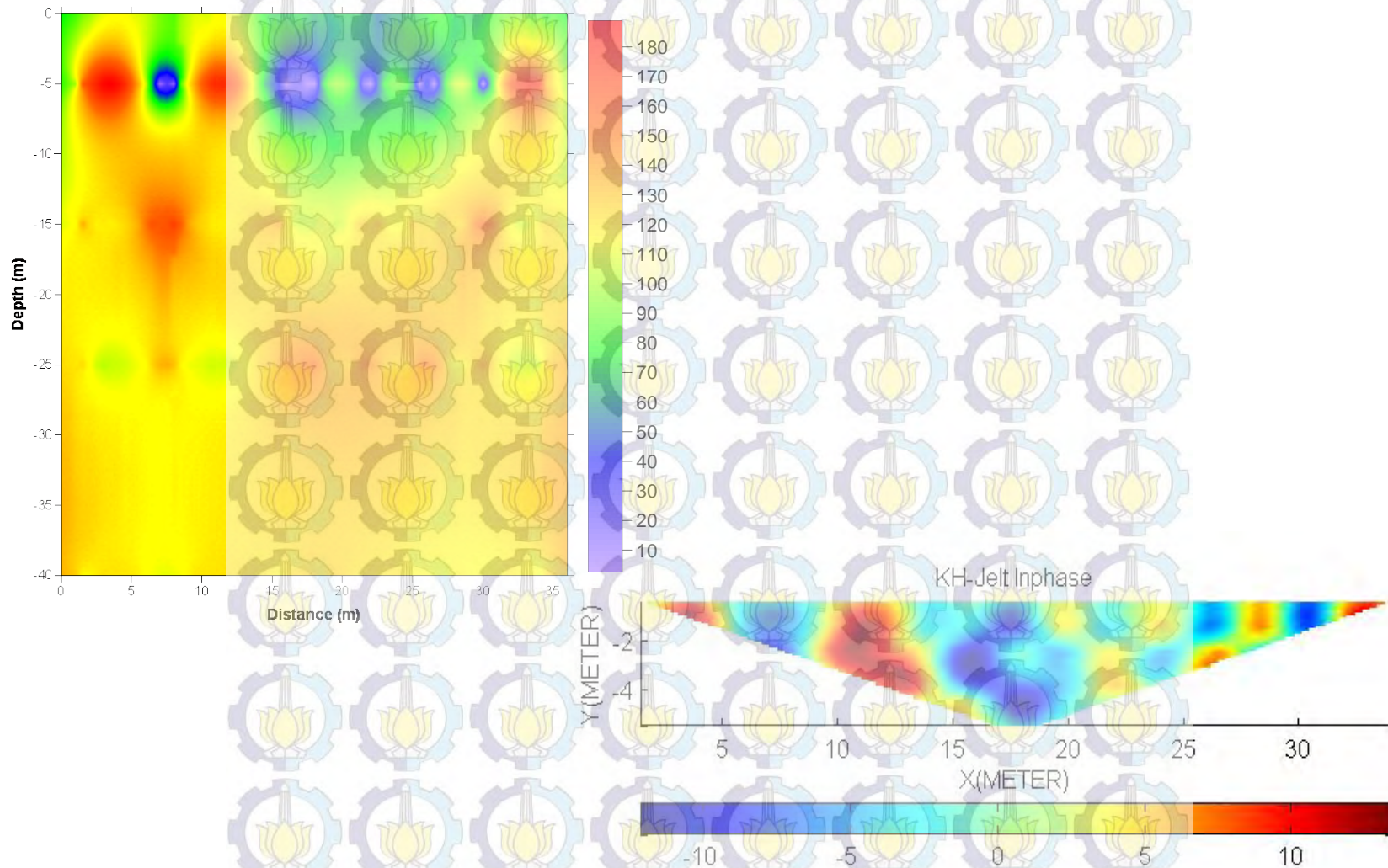






# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

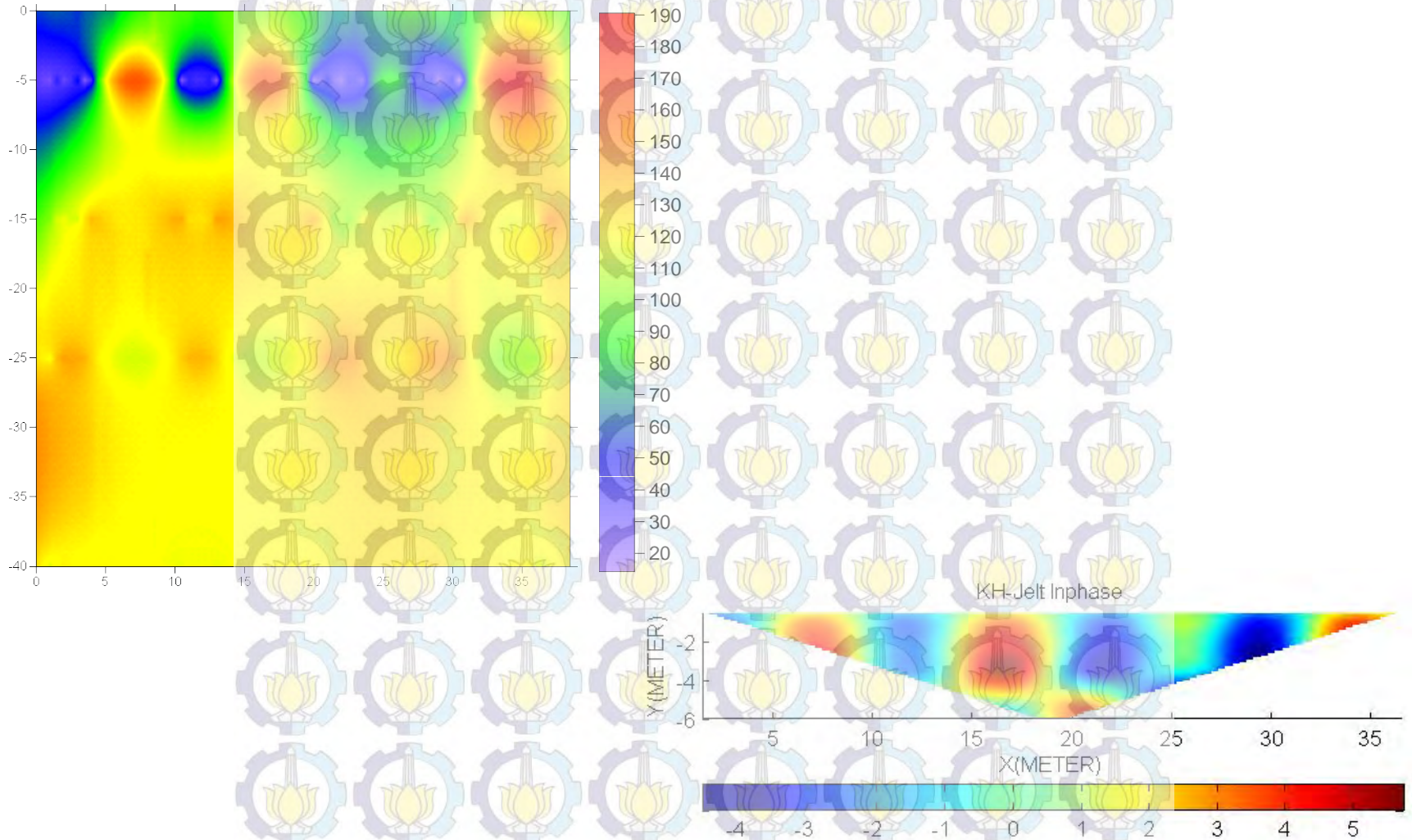
## Line 1





# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

## Line 2

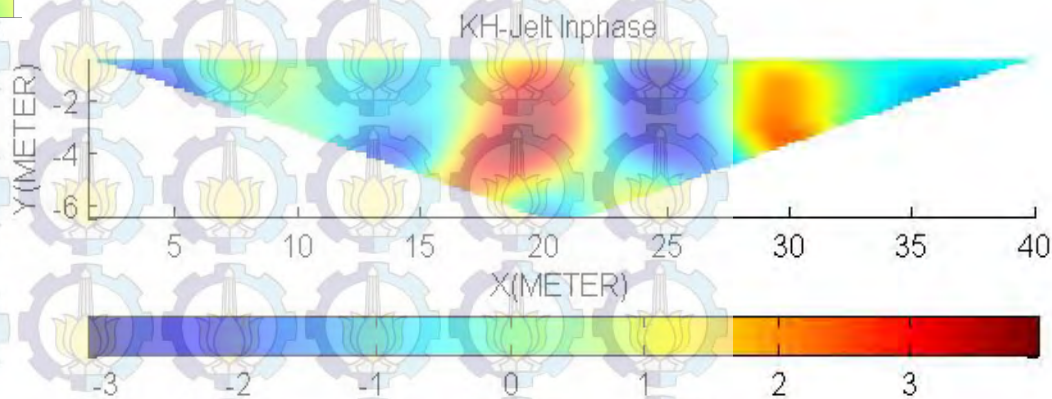
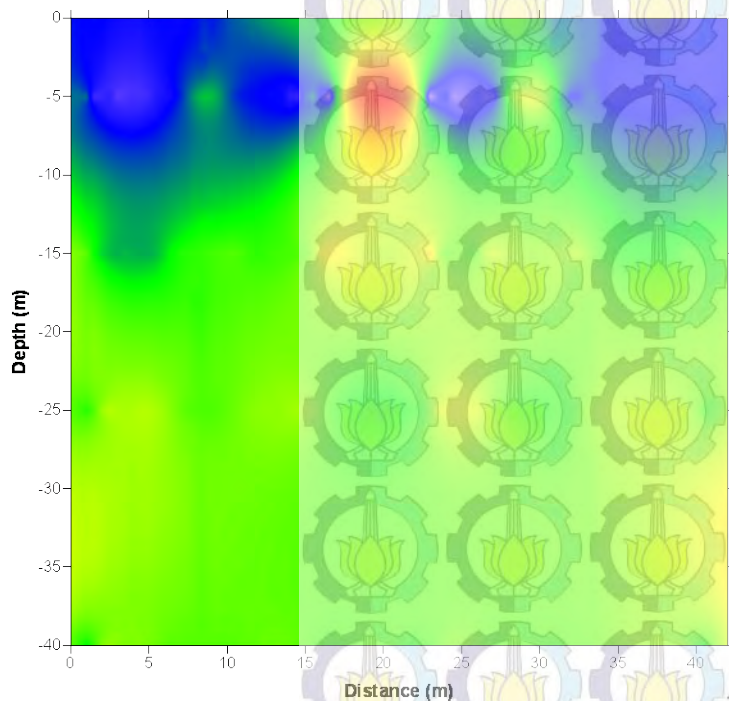






# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

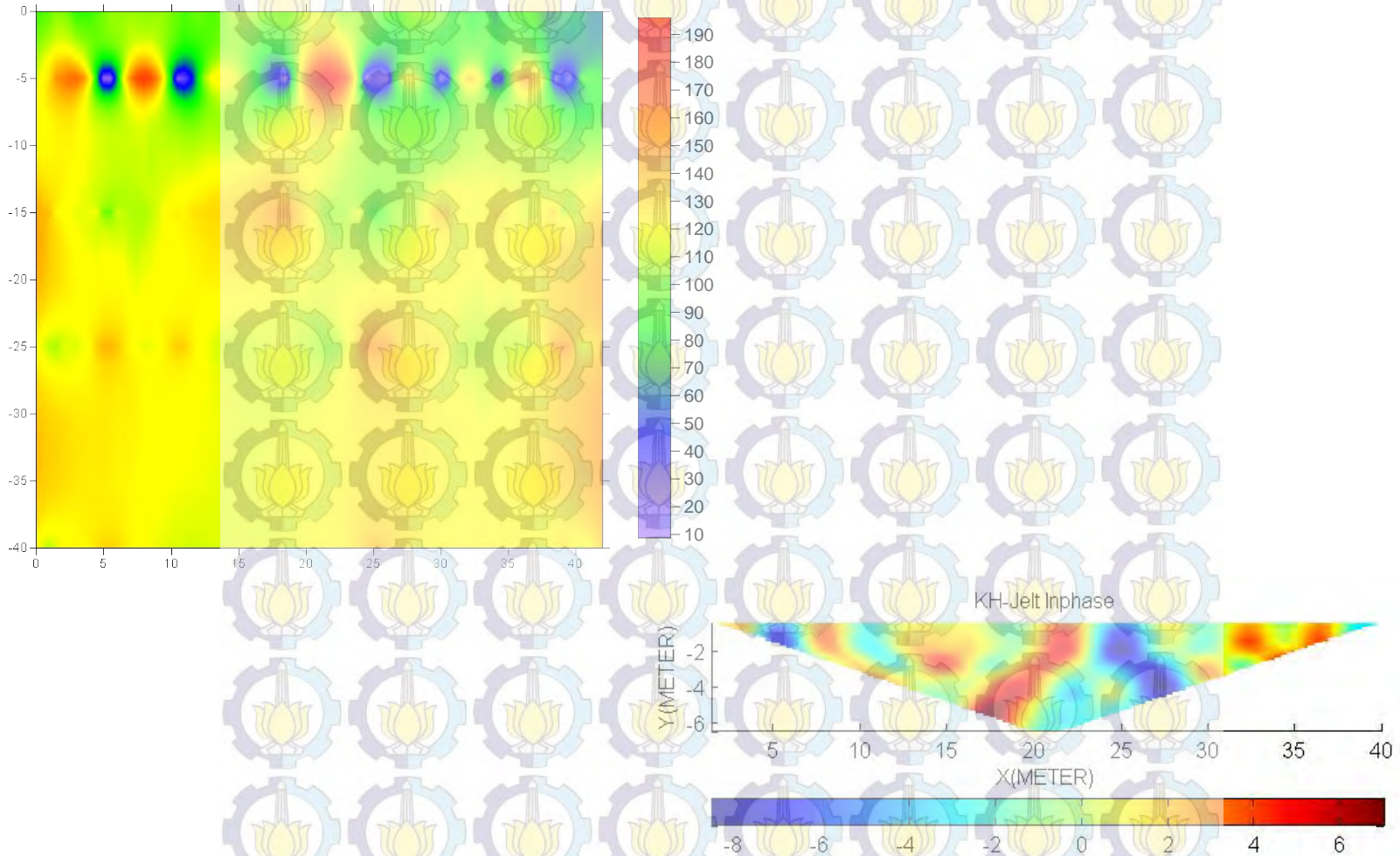
## Line 3





# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

## Line 4

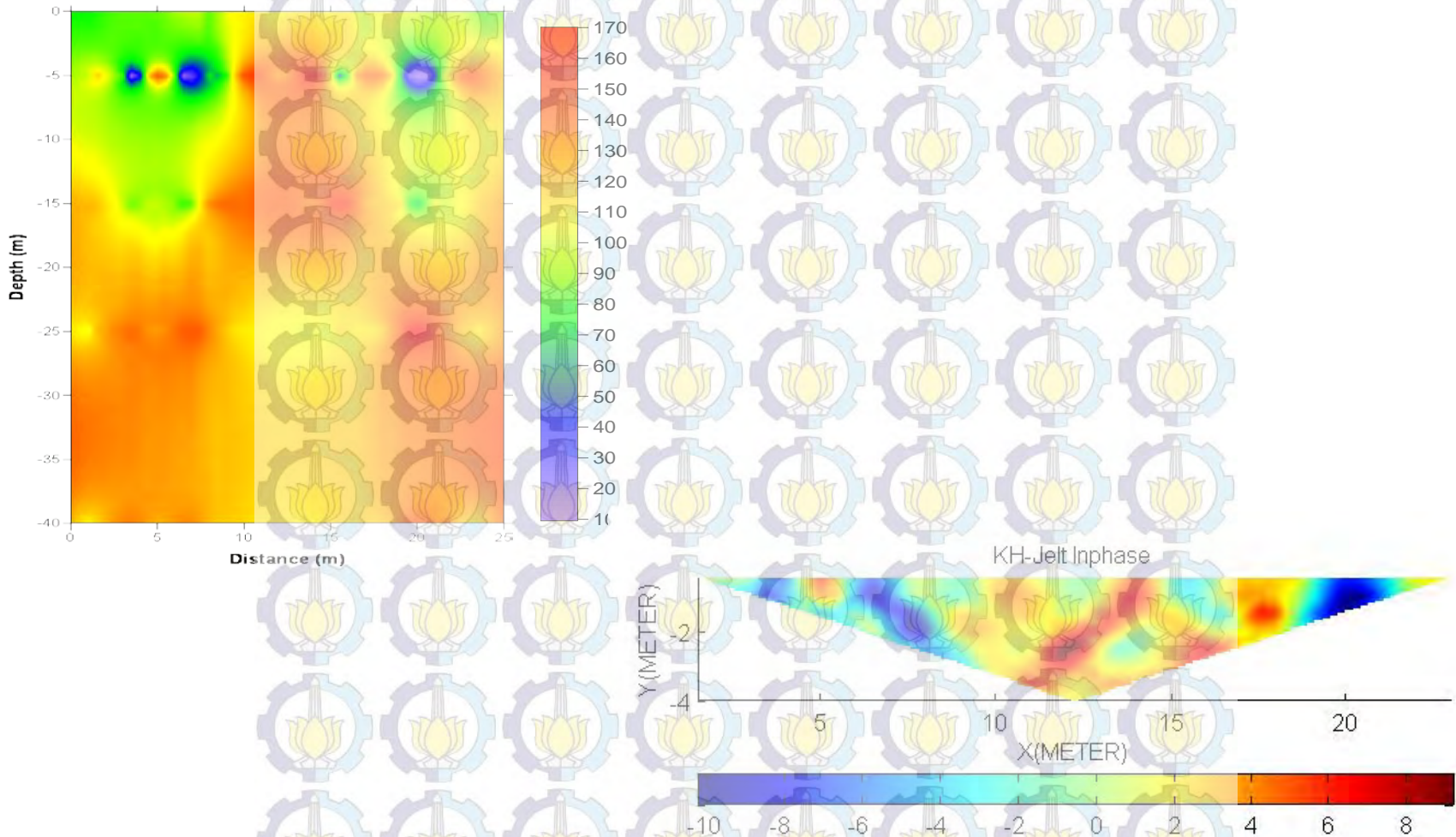






# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

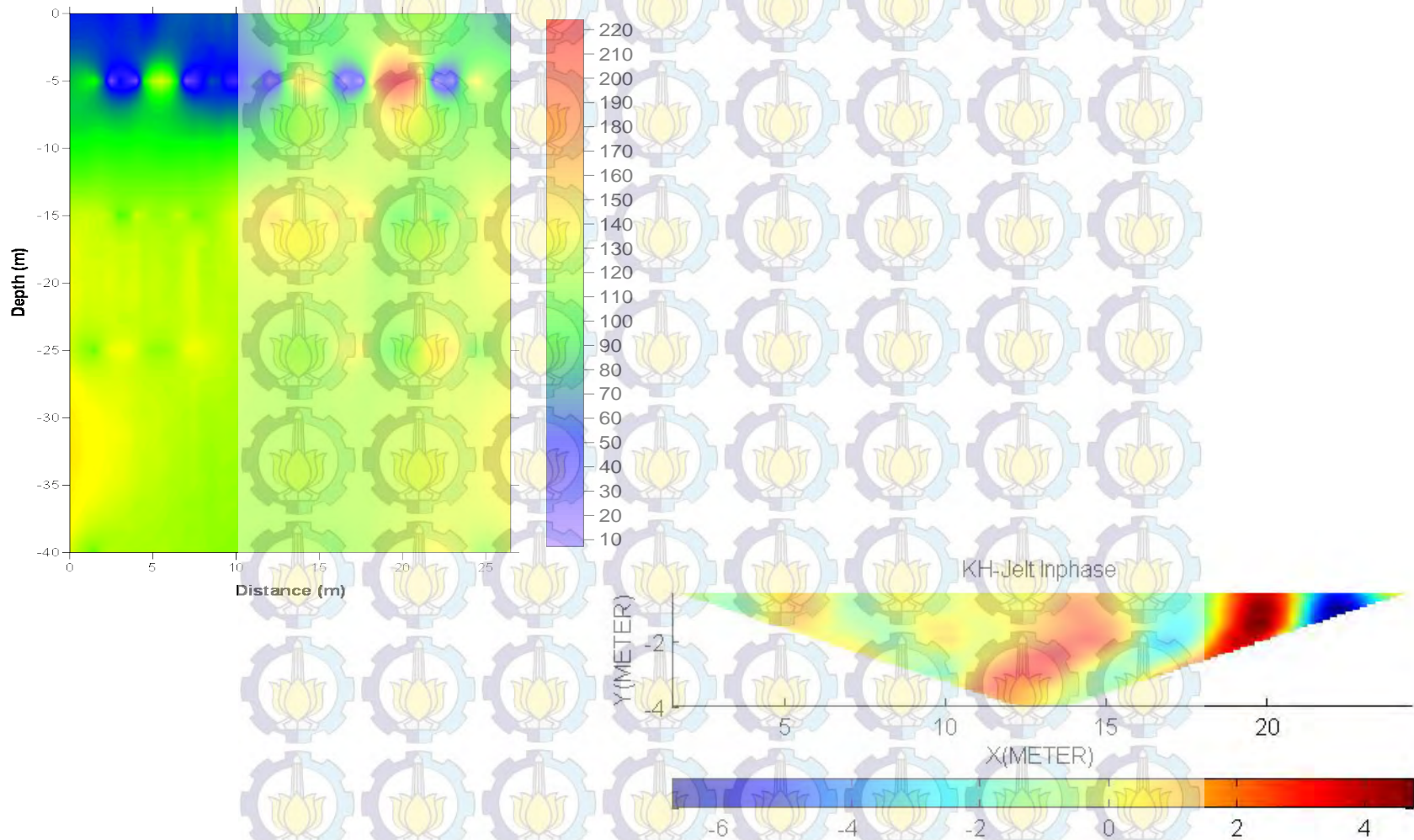
## Line 5





# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

## Line 6

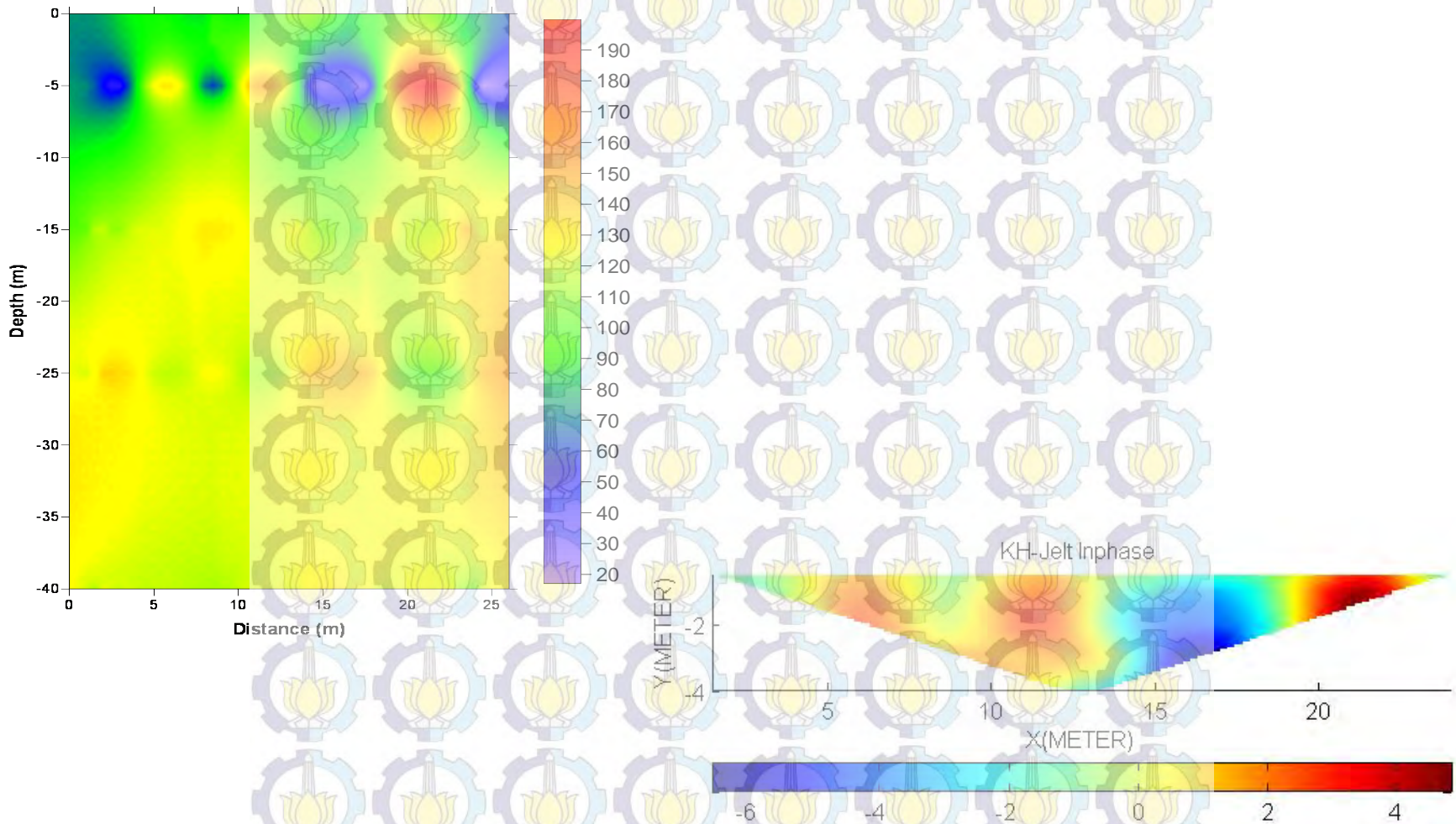






# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

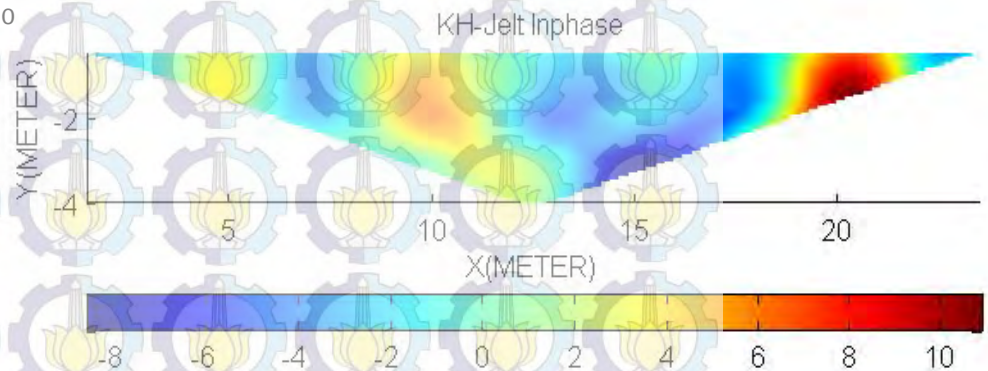
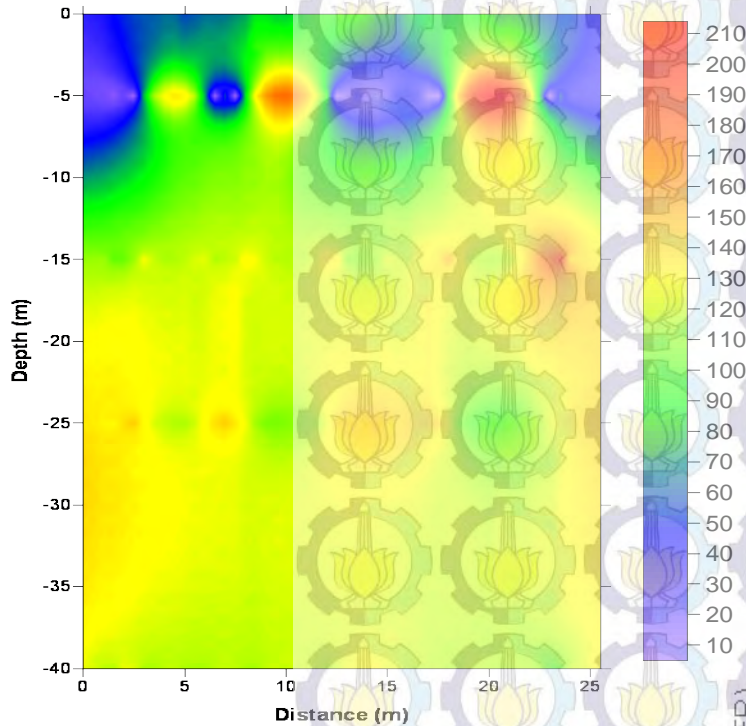
## Line 7





# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

## Line 8

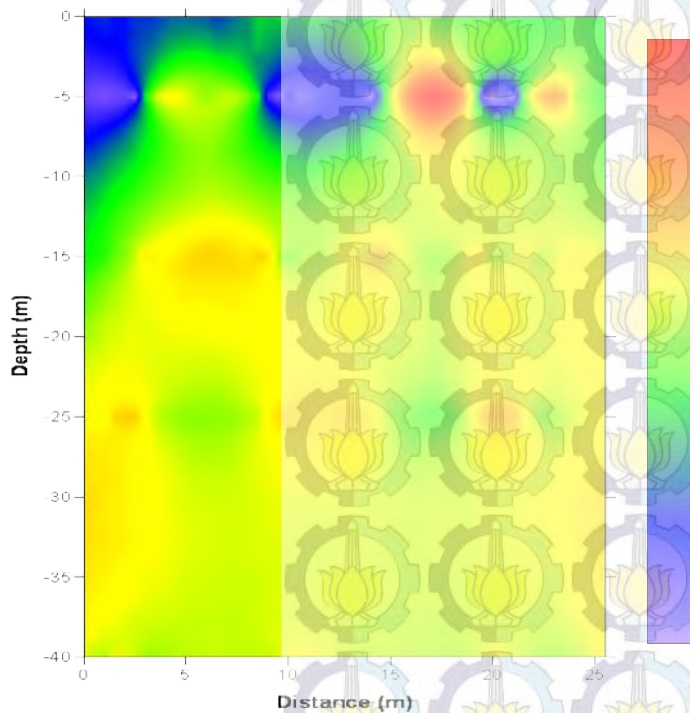




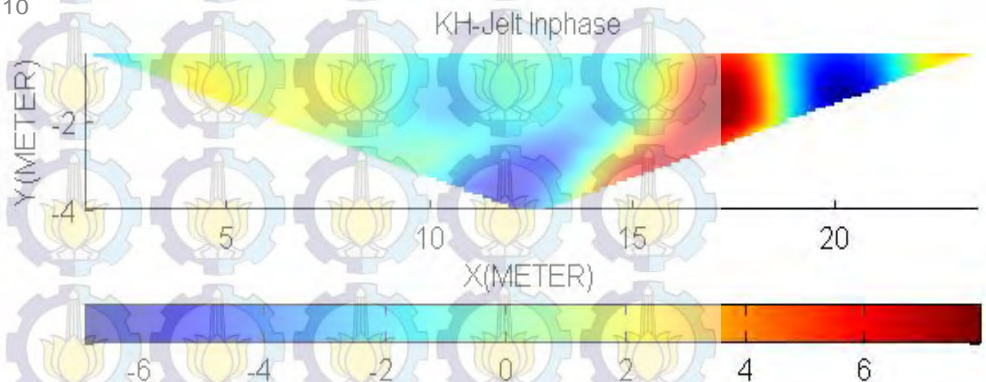


# ● INTERPRETASI KESELURUHAN SPASI 0.5

## Line 9

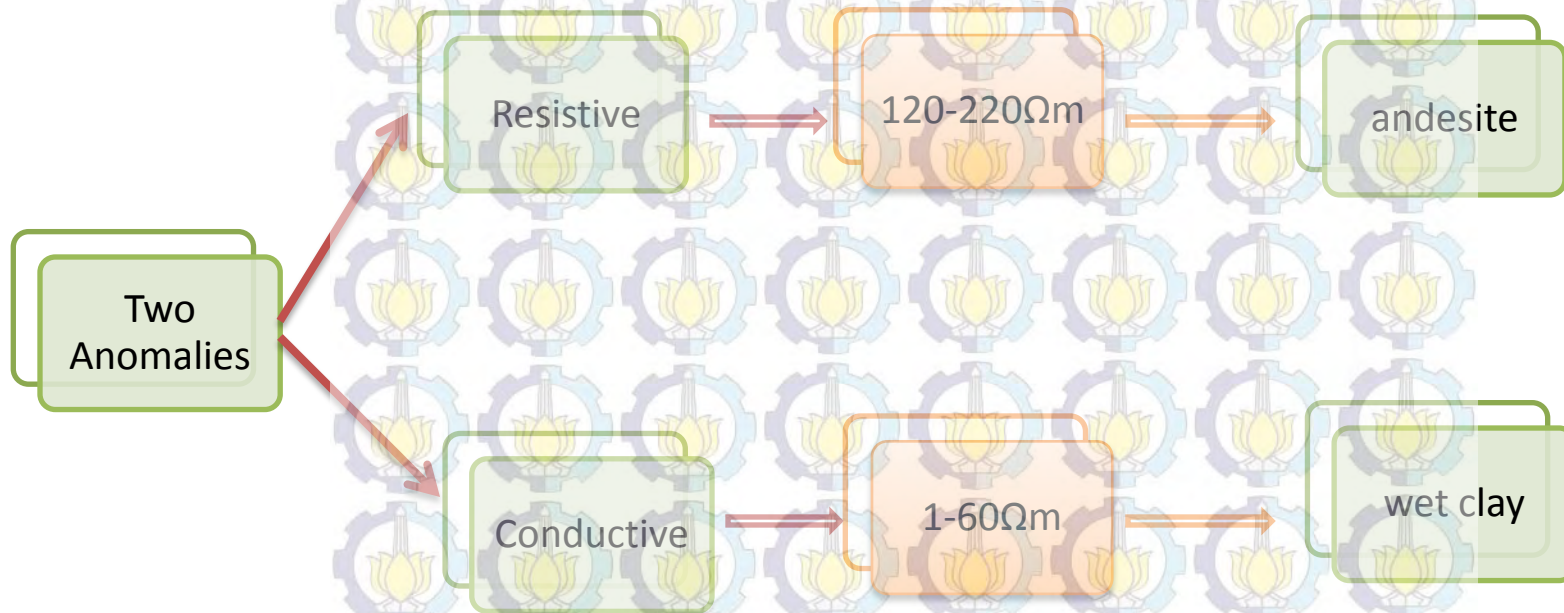


200  
190  
180  
170  
160  
150  
140  
130  
120  
110  
100  
90  
80  
70  
60  
50  
40  
30  
20  
10





## ● Conclusion







Thank You